

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
10. September 2004 (10.09.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/076085 A2

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: B21B 37/74

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/001365

(22) Internationales Anmeldedatum:  
13. Februar 2004 (13.02.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
103 08 222.0 25. Februar 2003 (25.02.2003) DE  
103 21 792.4 14. Mai 2003 (14.05.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];  
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): REINSCHKE, Jo-  
hannes [DE/DE]; Schornbaumstr. 2, 91052 Erlangen

(DE). WEINZIERL, Klaus [DE/DE]; Eisensteiner Str.  
12, 90480 Nürnberg (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-  
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München  
(DE).

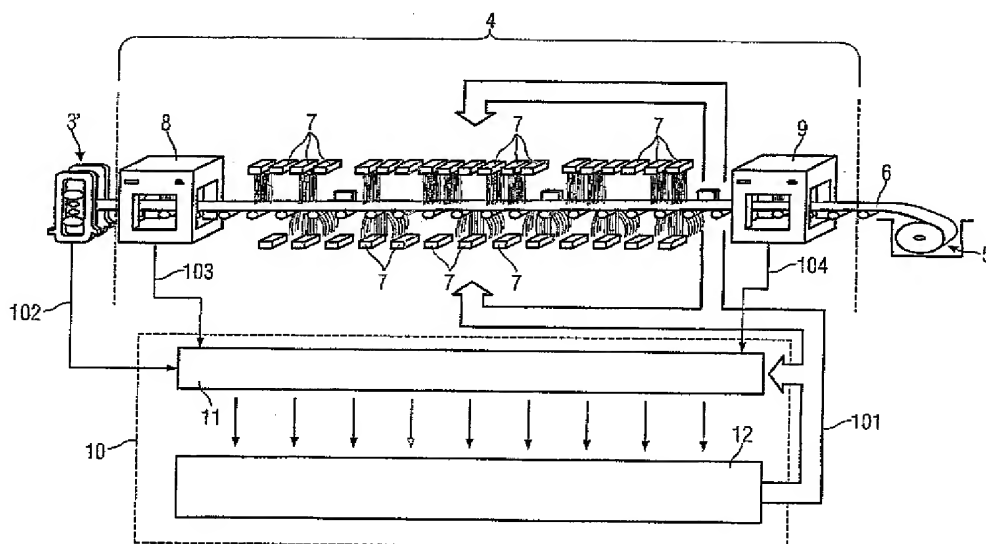
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,  
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,  
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,  
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,  
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR REGULATING THE TEMPERATURE OF A METAL STRIP, ESPECIALLY IN A COOLING PATH

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR REGELUNG DER TEMPERATUR EINES METALLBANDES, INSBESONDERE IN  
EINER KÜHLSTRECKE



(57) Abstract: The invention relates to a method for controlling or regulating the temperature of a metal strip in a cooling path (4) of a hot rolling system. A desired temperature gradient is compared to an actual temperature gradient in order to determine adjusting signals for the cooling path (4). At least one target function is formed for actuators of the cooling strip (4), taking into account auxiliary conditions, and said target function is solved as a quadratic optimisation problem for the purpose of model predictive regulation. The invention also relates to an overlapping regulation for the finishing train and the cooling path of the hot rolling system.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/076085 A2



GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**Veröffentlicht:**

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung bzw. zur Regelung der Temperatur eines Metallbandes in der Kühlstrecke (4) einer Warmwalzanlage, wobei zur Ermittlung von Stellsignalen der Kühlstrecke (4) ein Soll-Temperaturverlauf mit einem Ist-Temperaturverlauf verglichen wird, wobei unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen mindestens eine Zielfunktion für Stellglieder der Kühlstrecke (4) gebildet wird und diese Zielfunktion im Sinne einer modellprädikativen Regelung als quadratisches Optimierungsproblem gelöst wird. Dabei wird eine übergreifende Regelung für Fertigstraße und Kühlstrecke der Warmwalzanlage vorgeschlagen.

## Beschreibung

Verfahren zur Regelung der Temperatur eines Metallbandes,  
insbesondere in einer Kühlstrecke

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung bzw. zur  
Regelung der Temperatur eines Metallbandes in einer Anlage  
der Stahlindustrie, insbesondere in einer Kühlstrecke, die  
einer Walzstraße zum Walzen von Metall-Warmband nachgeordnet  
10 ist.

Aus der DE 199 63 186 A1 ist ein Steuerverfahren für eine  
Kühlstrecke bekannt, der eine Fertigstraße zum Walzen von Me-  
tall-Warmband vorgeordnet ist. Bei diesem Steuerverfahren  
15 werden beim Einlaufen des Warmbandes in die Kühlstrecke Band-  
punkte und deren Anfangstemperaturen erfasst und den erfass-  
ten Bandpunkten individuell Solltemperaturverläufe zugeord-  
net. Die Bandpunkte, deren Anfangstemperaturen und deren  
Solltemperaturverläufe werden einem Modell für die Kühlstre-  
20 cke zugeführt. Die Bandpunkte werden beim Durchlaufen der  
Kühlstrecke wegverfolgt. In der Kühlstrecke wird das Warmband  
mittels Temperaturbeeinflussungseinrichtungen Temperaturbee-  
einflussungen unterworfen. Die Wegverfolgungen und die Tempe-  
raturbeeinflussungen werden ebenfalls dem Modell zugeführt.

25 Das Modell ermittelt in Echtzeit erwartete Ist- Temperaturen  
der erfassten Bandpunkte und ordnet diese den Bandpunkten zu.  
Dadurch steht für jeden Bandpunkt zu jedem Zeitpunkt die Tem-  
peratur als Funktion über die Banddicke zur Verfügung. Ferner  
ermittelt es anhand der den erfassten Bandpunkten zugeordne-  
30 ten Solltemperaturverläufe und der erwarteten Ist-  
Temperaturen Ansteuerwerte für die Temperaturbeeinflussungs-  
einrichtungen und führt die Ansteuerwerte diesen zu. Die Tem-  
peraturführung dient insbesondere zum gezielten Einstellen  
von Material- und Gefügeeigenschaften des Metall-Warmbandes.

35 In der Regel wird dabei die Temperaturführung derart durchge-  
führt, dass ein vorbestimmter Haspeltemperaturverlauf vom  
Ausgang der Kühlstrecke möglichst gut erreicht wird.

Maßgeblich für Material- und Gefügeeigenschaften des Metallbands sind neben der chemischen Zusammensetzung und Parametern des Umformprozesses, wie z.B. die Abnahmeverteilung über die Gerüste der Fertigstaffel und der zeitliche Temperaturverlauf des Bandmaterials beim Durchlauf durch die Anlage.

Die letzten Stellglieder für den Temperaturverlauf des Metallbandes innerhalb der Anlage befinden sich dabei in der Regel innerhalb der Kühlstrecke. In der Kühlstrecke vollzieht sich häufig auch die Phasenumwandlung des Materials. Als Stellglieder dienen in der Regel die Ventile der Kühlstrecke. Bei bestimmten Kühlstrecken, wie z.B. Grobblechstraßen, kann zusätzlich auch der Massenfluss, d.h. insbesondere die Bandgeschwindigkeit, gestellt werden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Steuerung bzw. die Regelung der Temperatur eines Metallbandes, dabei insbesondere in einer Kühlstrecke, in einer Anlage der Stahlindustrie derart zu verbessern, dass die Nachteile bekannter Steuerungen bzw. Regelungen weitestgehend vermieden werden und die Effizienz der Steuerung bzw. Regelung erhöht wird.

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung der Temperatur eines Metallbandes in einer Anlage der Stahlindustrie gelöst, insbesondere in einer Kühlstrecke, die einer Walzstraße zum Walzen von Metallwarmband nachgeordnet ist, wobei zur Ermittlung von Stellsignalen ein Soll-Temperaturverlauf mit einem Ist-Temperaturverlauf verglichen wird, und wobei unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen mindestens eine Zielfunktion für Stellglieder der Anlage, insbesondere in der Kühlstrecke, gebildet wird.

Durch die Berücksichtigung von Nebenbedingungen, die vorzugsweise Anlagengrenzen bzw. Stellbegrenzungen entsprechen, wird es möglich, insbesondere für verschiedene Kühlstrecken-Layouts und vor allem für den Fall eines vorgegebenen Tempe-

ratur- bzw. Abkühlverlaufs, (Stell-) Vorgaben zu ermitteln, die Stellbegrenzungen in sinnvoller Weise berücksichtigen. So wird beispielsweise bei einer zweigeteilten Kühlstrecke vermieden, dass die Vorgabe einer zu hohen Temperatur zwischen  
5 beiden Teilkühlstrecken zur Folge hat, dass die Haspeltemperatur mit der verfügbaren Kühlmittelmenge der zweiten Teilkühlstrecke nicht mehr erreicht werden kann.

10 Mit Vorteil wird die Zielfunktion durch Lösen eines Optimierungsproblems minimiert bzw. maximiert. Derart wird eine Steuerung bzw. Regelung auch dann möglich, wenn ein Temperatur- bzw. Abkühlverlauf vorgegeben wird, der nicht exakt realisierbar ist. Das Verfahren ermittelt dann die bestmögliche Approximation.

15 Mit Vorteil wird ein quadratisches Optimierungsproblem gelöst. Derart wird die Zeit zum Lösen des Optimierungsproblems in der Regel deutlich verringert.

20 Mit Vorteil wird der Ist-Temperaturverlauf und/oder der Soll-Temperaturverlauf des Metallbandes unter Zuhilfenahme mindestens eines Modells ermittelt. Derart wird eine verbesserte Steuerung bzw. Regelung der Temperatur des Metallbandes auch dann ermöglicht, wenn die tatsächliche Bandtemperatur an für  
25 die Steuerung bzw. Regelung relevanten Orten, insbesondere der Kühlstrecke, nicht gemessen werden kann.

Alternativ oder zusätzlich wird der Ist-Enthalpieverlauf und/oder der Soll-Enthalpieverlauf ermittelt.

30 Mit Vorteil wird das Modell online adaptiert. Auf diese Weise kann beispielsweise eine vorhandene Anlagendrift berücksichtigt werden und es können realistische Ergebnisse, insbesondere für nachfolgende Metallbänder, ermittelt werden.

35 Mit Vorteil werden Bandpunkte wegverfolgt.

Mit Vorteil wird ein Temperaturverlauf für einzelne Bandpunkte des Metallbands ermittelt. Derart und insbesondere auch durch die Wegverfolgung der Bandpunkte wird die Genauigkeit der Steuerung bzw. Regelung deutlich verbessert.

5

Mit Vorteil wird die Zielfunktion durch Lösen eines Optimierungsproblems mittels Vorausberechnung minimiert bzw. maximiert. Insbesondere wird auf diese Weise die zur Voreinstellung der Stellglieder benötigte Zeit deutlich reduziert. Vorzugsweise werden derart zudem die Stellglieder optimal im Hinblick auf eine nachfolgende Online-Regelung voreingestellt.

10

Mit Vorteil wird die Zielfunktion vorzugsweise online durch Lösen eines Optimierungsproblems iterativ minimiert bzw. maximiert.

15

Vorteilhafte Weiterbildungen des Verfahrens sind in den Ansprüchen 10 bis 14 angegeben.

20

Weitere Lösungen der erfindungsgemäßen Aufgabe sind in den Ansprüchen 15 bis 18 angegeben.

Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung mehrerer Ausführungsbeispiele der Erfindung in Verbindung mit den Zeichnungen. Dabei zeigen beispielhaft:

25

- FIG 1      den prinzipiellen Aufbau eines Walzwerks,
- 30      FIG 2      die Kühlstrecke eines Walzwerks sowie eine zu deren Steuerung bzw. Regelung dienende Recheneinrichtung,
- 35      FIG 3      eine Kühlstrecke und eine ihr schematisch zugeordnete Kühlstreckenregelung,
- FIG 4      mögliche Module einer Kühlstreckenregelung,

FIG 5      Vorausberechnung und eine Echtzeitregelung einer Kühlstrecke,

5      FIG 6      einen möglichen Temperaturverlauf eines Metallbandes in der Kühlstrecke.

Figur 1 zeigt eine Anlage zur Erzeugung von Metallband 6, die eine Vorstraße 2, eine Fertigstraße 3 und eine Kühlstrecke 4 umfasst. Das Metallband 6 wird dabei vorzugsweise warm gewalzt. Hinter der Kühlstrecke 4 ist vorzugsweise eine Haspelvorrichtung 5 angeordnet. Von ihr wird das in den Straßen 2 und 3 gewalzte und in der Kühlstrecke 4 gekühlte Metallband 6 aufgehaspelt. Den Straßen 2 bzw. 3 ist eine Bandquelle 1 vorgeordnet. Die Bandquelle 1 ist beispielsweise als Ofen ausgebildet, in dem Metallbrammen erwärmt werden. Die Bandquelle 1 kann beispielsweise auch als Stranggießanlage ausgebildet sein, in der Metallband 6 erzeugt wird, das dann der Vorstraße 2 zugeführt wird.

20 Die Anlage zur Stahlerzeugung und insbesondere die Straßen 2, 3 sowie die Kühlstrecke 4 und die mindestens eine Haspelvorrichtung 5 werden mittels eines Steuerverfahrens gesteuert, das von einer Recheneinrichtung 10 ausgeführt wird. Hierzu ist die Recheneinrichtung 10 mit ein oder mehreren der Komponenten 1 bis 5 der Anlage zur Stahlerzeugung steuerungstechnisch gekoppelt. Die Recheneinrichtung 10 ist mit einem als Computerprogramm ausgebildeten Steuerprogramm programmiert, aufgrund dessen sie das erfindungsgemäße Verfahren zur Steuerung bzw. zur Regelung der Temperatur des Metallbandes 6 ausführt.

35 Gemäß Figur 1 verlässt das Metallband bzw. die Bramme 6 die Bandquelle 1 und wird zunächst in der Vorstraße 2 auf eine Eingangsdicke für die Fertigstrecke 3 gewalzt. Innerhalb der Fertigstraße wird das Band 6 dann mittels der Walzgerüste 3'

auf seine Enddicke gewalzt. Die anschließende Kühlstrecke 4 kühlt das Band auf eine vorgegebene Haspeltemperatur ab.

Um gewünschte mechanische Eigenschaften des Bandes 6 zu gewährleisten, muss ein geeigneter Temperaturverlauf für die Fertigstraße 3 und für die Kühlstrecke 4 eingehalten werden. Hierzu wird vorzugsweise ein Soll-Temperaturverlauf abhängig von beispielsweise dem Anlagentyp, dem Betriebsmodus, dem jeweiligen Auftrag und gewünschten Eigenschaften des Metallbandes 6 vorgegeben.

Figur 5 zeigt eine Recheneinrichtung 10 zur Steuerung einer Kühlstrecke 4. Dabei weist die Recheneinrichtung 10 ein Vorausberechnungsmodul 21 und ein Modul 22 für vorzugsweise online Berechnungen insbesondere während des Kühlprozesses auf.

Mit Hilfe des Vorausberechnungsmoduls 21 können die Stellglieder der Fertigstraße 4 initialisiert werden. Dazu werden beispielsweise Schätzwerte für fehlende Messwerte, beispielsweise die Eingangsgeschwindigkeit des Metallbandes, die Temperatur des Metallbandes am Ende der Fertigstraße 3 und die Banddicke, verwendet. Als bedienerseitige Eingabewerte für das Vorausberechnungsmodul 21 dienen beispielsweise gewünschte Materialwerte 105.

Die Vorausberechnung 20 innerhalb des Vorausberechnungsmoduls 21 läuft iterativ ab. Das bedeutet, dass Berechnungen mit verschiedenen Kühlmittelmengen wiederholt werden, bis vorgegebene Fehler minimiert sind. Die Vorausberechnung 20 ist daher mit online fähigen Kühlstreckenmonitor 11 sowie einer Adaptation 18 gekoppelt.

Das Berechnungsmodul 22 weist einen Kühlstreckenmonitor 11 und eine Kühlstreckenregelung 12 auf, die miteinander gekoppelt sind. Der Kühlstreckenmonitor 11 und die Kühlstreckenregelung 12 steuern die Stellglieder der Kühlstrecke 4 und sind vorzugsweise mit einem oder mehreren Modellen der Kühlstre-



cke, die z.B. in einer Modellbibliothek 19 abgelegt sein können, gekoppelt. Vorzugsweise wird eines der Modelle zur Steuerung der Stellglieder verwendet. Die Kühlstreckenregelung 12 gibt Stellsignale 101 an die Kühlstrecke 4 weiter, 5 beispielsweise in Form von Stellmustern für Kühlmittelventile.

Figur 2 beschreibt die Funktionsweise des Kühlstreckenmonitors 11 und der Kühlstreckenregelung 12 genauer.

10

Der Kühlstreckenmonitor 11 ermittelt den Zustand der Kühlstrecke 4. Als Eingangsparameter für den Kühlstreckenmonitor 11 dienen beispielsweise Werte wie die Geschwindigkeit des Metallbandes 6, Bandtemperaturen sowie Kühlmitteltemperaturen 15 und Kühlmitteldruck.

Weitere Eingangsgrößen sind die Einstellungen der Stellglieder, d.h. also vorzugsweise der Ventile 7.

- 20 Vorzugsweise ist im Eingangsbereich der Kühlstrecke 4 ein Endwalztemperatur-Messplatz 8 zur Messung der Temperatur des Metallbands 6 angeordnet. Hier wird die Temperatur des am Ende der Fertigstraße 3 bzw. die Temperatur zwischen Fertigstraße 3 und Kühlstrecke 4 gemessen. Am Ende der Kühlstrecke 25 4 ist vorzugsweise ein Endtemperatur-Messplatz 9 angeordnet. Hier wird die Temperatur vor der Haspelvorrichtung 5 bzw. am Ende der Kühlstrecke 4 gemessen. Eingangsgrößen des Kühlstreckenmonitors 11 sind die am Endwalztemperatur-Messplatz 8 ermittelten Eingangstemperaturen 103 des Metallbandes, die am 30 Haspeltemperatur-Messplatz 9 ermittelten Ausgangstemperaturen 104 des Metallbandes sowie weitere Banddaten 102, die vorzugsweise in der Fertigstraße 3, z.B. an oder kurz nach deren letztem Walzgeüst 3', ermittelt werden.
- 35 Von der Kühlstreckenregelung 12 werden an den Kühlstreckenmonitor 11 Ventilstellungen 101 übermittelt, die in der Regel jedoch vom Kühlstreckenmonitor 11 nicht auf Plausibilität ge-

prüft werden. Der Kühlstreckenmonitor 11 ermittelt stets den gegenwärtigen Zustand der Kühlstrecke 4.

Die erfindungsgemäße Steuerung bzw. Regelung erfolgt Zeittakt  
5 weise vorzugsweise in Regelschritten. Die Kühlstreckenregelung 12 ermittelt die Ventilstellungen 101 der Ventile 7 der Kühlstrecke 4 für den jeweils nächsten Regelschritt. Dabei wird vorzugsweise ein Optimierungsproblem gelöst, auf das im weiteren Text noch näher eingegangen wird

10

Erfindungsgemäß wird vorzugsweise in jedem Zeittakt ein Iterationsschritt durchgeführt wird, wobei ausgehend von der einem aktuellen Zeittakt zugeordneten Lösung des Optimierungsproblems mindestens ein Stellsignal auf die Anlage aufgeschaltet wird. Vorzugsweise werden für einen nachfolgenden  
15 Zeittakt weitere aktualisierte Messwerte bei der Lösung des Optimierungsproblems berücksichtigt. Derart kann ein geschlossener Regelkreis gebildet werden.

Es ist vorteilhaft wenn bei einer hohen Anzahl von Stellgliedern, wie sie für die Kühlstrecke 4 typisch ist, bei der Aufstellung des vorzugsweise quadratischen Optimierungsproblems nicht einzelne Ventile sondern Gruppen von Ventilen als  
20 Stellglied aufgefasst werden. Die Aufteilung des berechneten Stellwerts auf die einzelnen Ventile erfolgt über eine geeignete Schaltheuristik. Das Zusammenfassen von Ventilen zu Ventilgruppen ist besonders für eine online, d.h. in Echtzeit, erfolgende Lösung des Optimierungsproblems besonders vorteilhaft.  
25

30

Figur 6 zeigt einen möglichen Temperaturverlauf  $T$  über den Orten  $x$  der Kühlstrecke 4, wobei die Kühlstrecke 4 durch den Anfang der Kühlstrecke  $x_A$  und das Ende der Kühlstrecke  $x_E$  begrenzt ist. Ein vergleichbares Bild würde sich beim Auftragen  
35 eines Temperaturverlaufs  $T$  über die Zeit ergeben.

Figur 3 stellt die modellprädiktive Regelung der Kühlstrecke näher dar. Dabei werden von der Kühlstreckenregelung 12 vorzugsweise nicht einzelne Ventile 7a bzw. 7b, zusammenfassend als 7 bezeichnet, angesteuert, sondern aus ein oder mehreren

5 Ventilen 7 bestehende Ventilgruppen. Dabei kann dementsprechend beispielsweise der Regelbereich 14 in mehrere Teilbereiche 14a und 14b aufgeteilt werden, wobei vorzugsweise jedem Teilbereich 14a bzw. 14b eine Ventilgruppe zugeordnet ist.

10

Innerhalb der Grenzen des Regelbereichs 14, dessen Grenzen sich mit den Grenzen der Kühlstrecke in der Regel decken, kann hinsichtlich der Regelung zwischen einem Hauptregelbereich 15 und einem Abgleichsregelbereich 16 unterschieden

15 werden. Vorzugsweise werden einzelne Bandpunkte (13a, 13b) wegverfolgt.

Zur Steuerung und Regelung der Kühlstrecke wird ein modellprädiktiver Algorithmus eingesetzt. Dabei werden Stellglieder für  $N_u$  Zeitschritte in die Zukunft als Lösung eines vorzugsweise quadratischen Optimierungsproblems bestimmt, wobei mit dem Modell für  $N_y$  Zeitschritte Vorhersagen getroffen werden.

25  $N_u$  darf 1 oder auch eine natürliche Zahl größer 1 sein. In letzterem Fall werden in der Regel nur die berechneten Stellgliedeinstellungen für den ersten Zeitschritt implementiert. Für den nächsten Zeitschritt wird unter Berücksichtigung aktueller Messwerte bzw. Vorhersagewerte neu gerechnet.

30

$N_y$  muss so groß gewählt werden, dass die größte vorliegende Totzeit überwunden wird. Die größte Totzeit ergibt sich aus dem größten Abstand einer Temperaturmessstelle und der Position des nächstliegenden vorgeschalteten freien Stellventils.

35 Zur Aufstellung des vorzugsweise quadratischen Optimierungsproblems wird ein geeignetes vorzugsweise linearisiertes Bandtemperaturmodell verwendet. In das vorzugsweise quadrati-

sche Optimierungsproblem lassen sich leicht Gleichungs- und Ungleichungsnebenbedingungen integrieren. Derart können Stellgliedbegrenzungen und unterschiedliche Kühlstreckenlayouts besonders vorteilhaft und vorzugsweise derart berücksichtigt werden, dass an der Recheneinrichtung 10 bzw. am Vorausberechnungsmodul 21 und/oder dem Berechnungsmodul 22 keine übermäßigen Änderungen vorgenommen werden müssen.

Alternativ oder zusätzlich kann eine Modellprädiktive Regelung der Kühlstrecke auch auf dem Enthalpieverlauf in der Kühlstrecke fußen. Der Enthalpieverlauf über dem Ort  $x$  bzw. über der Zeit ist dabei vergleichbar mit dem Temperaturverlauf über dem Ort (siehe auch Figur 6) bzw. über der Zeit.

Wie Figur 4 veranschaulicht, ist es möglich, dass die Recheneinrichtung 10 ein Modul zur Kühlstreckenregelung 12 aufweist, das seinerseits mehrere Teilregelmodule 17a, 17b aufweist, die unterschiedlichen Regelbereichen 14a und 14b entsprechen.

Die erfindungsgemäße Steuerung bzw. Regelung der Kühlstrecke 4 ist unabhängig vom Kühlstreckenlayout und bietet aufgrund der modellprädiktiven Regelung ein optimales Verhalten der Steuerung auch an den Stellbegrenzungen. Vorgaben können auf flexible Weise im Sinne einer Priorisierung unterschiedlich gewichtet werden. In das erfindungsgemäße Steuerungs- bzw. Regelungsverfahren ist Edge-Masking integrierbar.

Das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich derart ausgestalten, dass auch die Geschwindigkeit des Metallbandes 6 gesteuert werden kann, was seine Verwendung beispielsweise auch für Grobblechstraßen möglich macht.

Insbesondere lässt sich auch eine Fertigstrasse 3 erfindungsgemäß regeln. Neben Bandgeschwindigkeit sind bei einer Fertigstrasse 3 Zwischengerüstkühlvorrichtungen weitere mögliche Stellglieder. Eine typische Zahl von Stellgliedern für eine

Kühlstrecke sind beispielsweise ca. 200 Ventile 7. Dies ist eine deutlich höhere Zahl von Stellgliedern als für eine typische Fertigstrasse 3.

- 5 Eine übergreifende Steuerung bzw. Regelung für mehrere Anlagenteile 1 bis 5 kann vorzugsweise wie nachstehend beispielsweise für eine Fertigstrasse 3 und eine Kühlstrecke 4 beschrieben erzielt werden.
- 10 Zur übergreifenden Steuerung bzw. Regelung werden vorzugsweise das Temperaturmodell der Fertigstraße 3 und das Temperaturmodell der Kühlstrecke 4 verkettet. Durch Addition der Zielfunktionen für beide Anlagenteile 3 und 4 wird ein vorzugsweise quadratisches Optimierungsproblem mit vorzugsweise
- 15 linearen Nebenbedingungen ermittelt, mit Hilfe dessen ein gemeinsames Steuerverfahren für beide Anlagenteile 3 und 4 bereitgestellt wird. Die Optimierung des Problems liefert so die Einstellungen für die Zwischengerüstkühlungen der Fertigstrasse 3, die Kühlstreckenventile 7 der Kühlstrecke 4 und
- 20 Geschwindigkeit des Metallbandes 6, insbesondere für den jeweils nächsten Regelschritt.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung der Temperatur eines Metallbandes (5) in einer Anlage der Stahlindustrie,  
5 dabei insbesondere in einer Kühlstrecke (4), die einer Walzstraße (2,3) zum Walzen von Metall-Warmband (6) nachgeordnet ist, wobei zur Ermittlung von Stellsignalen ein Soll-Temperaturverlauf mit einem Ist-Temperaturverlauf verglichen wird, dadurch gekennzeichnet dass unter Berücksichtigung von  
10 Nebenbedingungen mindestens eine Zielfunktion für Stellglieder der Anlage, insbesondere in der Kühlstrecke (4), gebildet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Zielfunktion durch Lösen eines Optimierungsproblems minimiert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Zielfunktion durch Lösen eines Optimierungsproblems maximiert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3,  
25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass ein quadratisches Optimierungsproblem gelöst wird.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der Ist-  
30 Temperaturverlauf und/oder der Soll-Temperaturverlauf des Metallbandes (6) unter Zuhilfenahme mindestens eines Modells ermittelt wird.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der Ist-Enthalpieverlauf und/oder der Soll-Enthalpieverlauf unter Zuhilfenahme mindestens eines Modells ermittelt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6,  
dadurch gekennzeichnet, dass das Modell online adaptiert wird.

5

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass Bandpunkte (13a, 13b) wegverfolgt werden.

10 9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass ein Temperaturverlauf für einzelne Bandpunkte (13a, 13b) des Metallbands (6) ermittelt wird.

15 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 9,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Zielfunktion durch Lösen eines Optimierungsproblems mittels Vorausberechnung minimiert oder maximiert wird.

20 11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Zielfunktion vorzugsweise online durch Lösen eines Optimierungsproblems iterativ minimiert oder maximiert wird.

25 12. Verfahren nach Anspruch 11,  
dadurch gekennzeichnet, dass in jedem Zeittakt ein Iterationsschritt durchgeführt wird, wobei ausgehend von der einem aktuellen Zeittakt zugeordneten Lösung des Optimierungsproblems mindestens ein Stellsignal auf die  
30 Anlage aufgeschaltet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12,  
dadurch gekennzeichnet, dass für einen nachfolgenden Zeittakt weitere Messwerte bei der Lösung  
35 des Optimierungsproblems berücksichtigt werden.

14. Verfahren nach Anspruch 13,  
dadurch gekennzeichnet, dass ein geschlossener Regelkreis gebildet wird.

5 15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass das Optimierungsproblems mit linearen Nebenbedingungen gelöst wird.

10 16. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur des Metallbandes (5) in mehreren Teilen (1 bis 5) der Anlage der Stahlindustrie, insbesondere in der Fertigstraße (3) und einer ihr nachgeordneten Kühlstrecke (4), gesteuert und/oder geregelt wird.

15 17. Computerprogramm zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorstehenden Ansprüche.

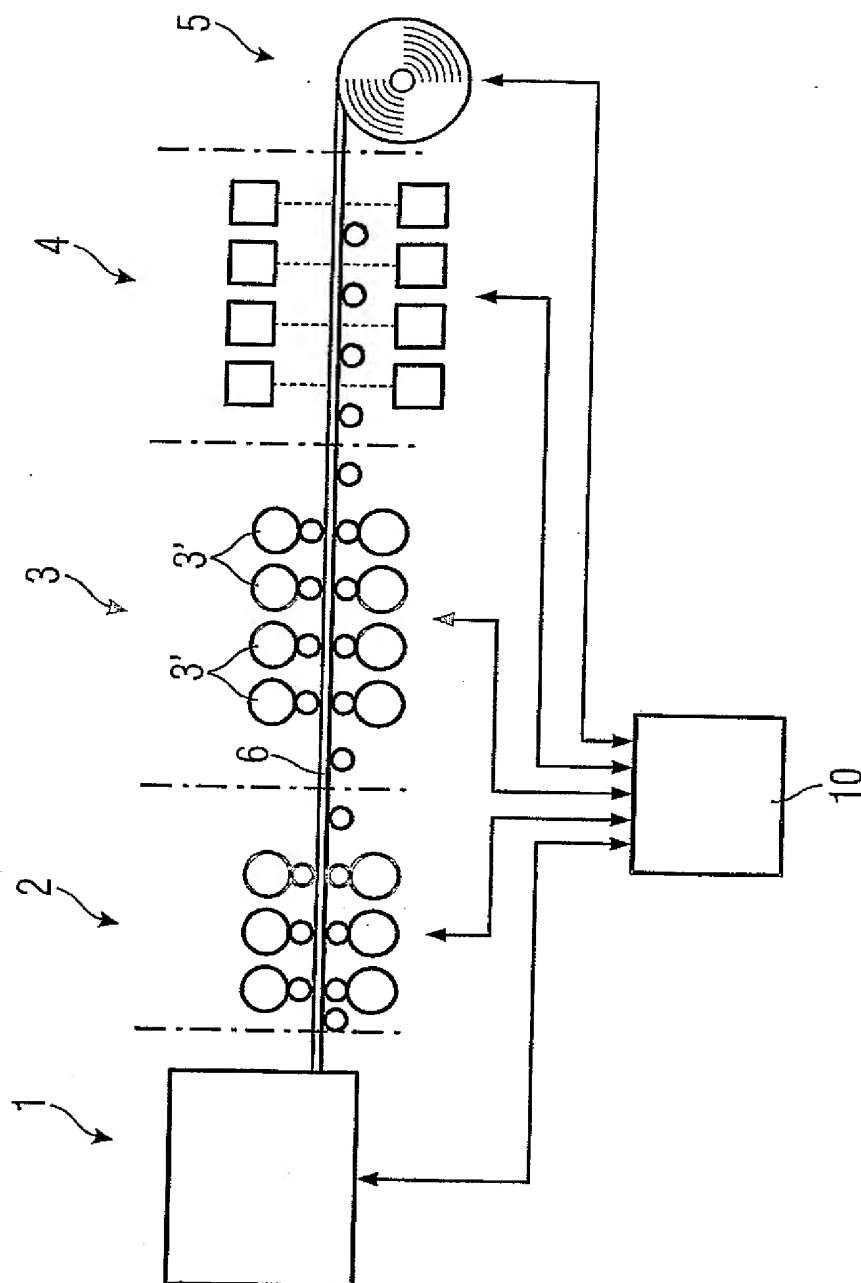
20 18. Mit einem Computerprogramm nach Anspruch 17 programmierte Recheneinrichtung (10) zur Steuerung mindestens der Kühlstrecke (4) einer Anlage der Stahlindustrie, wobei die Recheneinrichtung (10) direkt und/oder indirekt die Temperatur des Metallbandes (6) beeinflusst.

25 19. Recheneinrichtung (10) nach Anspruch 18,  
dadurch gekennzeichnet, dass sie einen Kühlstreckenmonitor (11), ein Modul zur Vorausberechnung (20), ein Modul zur Adaption (18) und ein Modul zur Kühlstreckenregelung (12) aufweist.

30 20. Recheneinrichtung (10) nach Anspruch 18 oder 19,  
dadurch gekennzeichnet, dass sie mehrere Regelmodule (17a, 17b) zur Regelung von Stellgliedern (7) und/oder von ein oder mehrere Stellglieder umfassenden  
35 Regelbereichen (14a, 14b) aufweist.

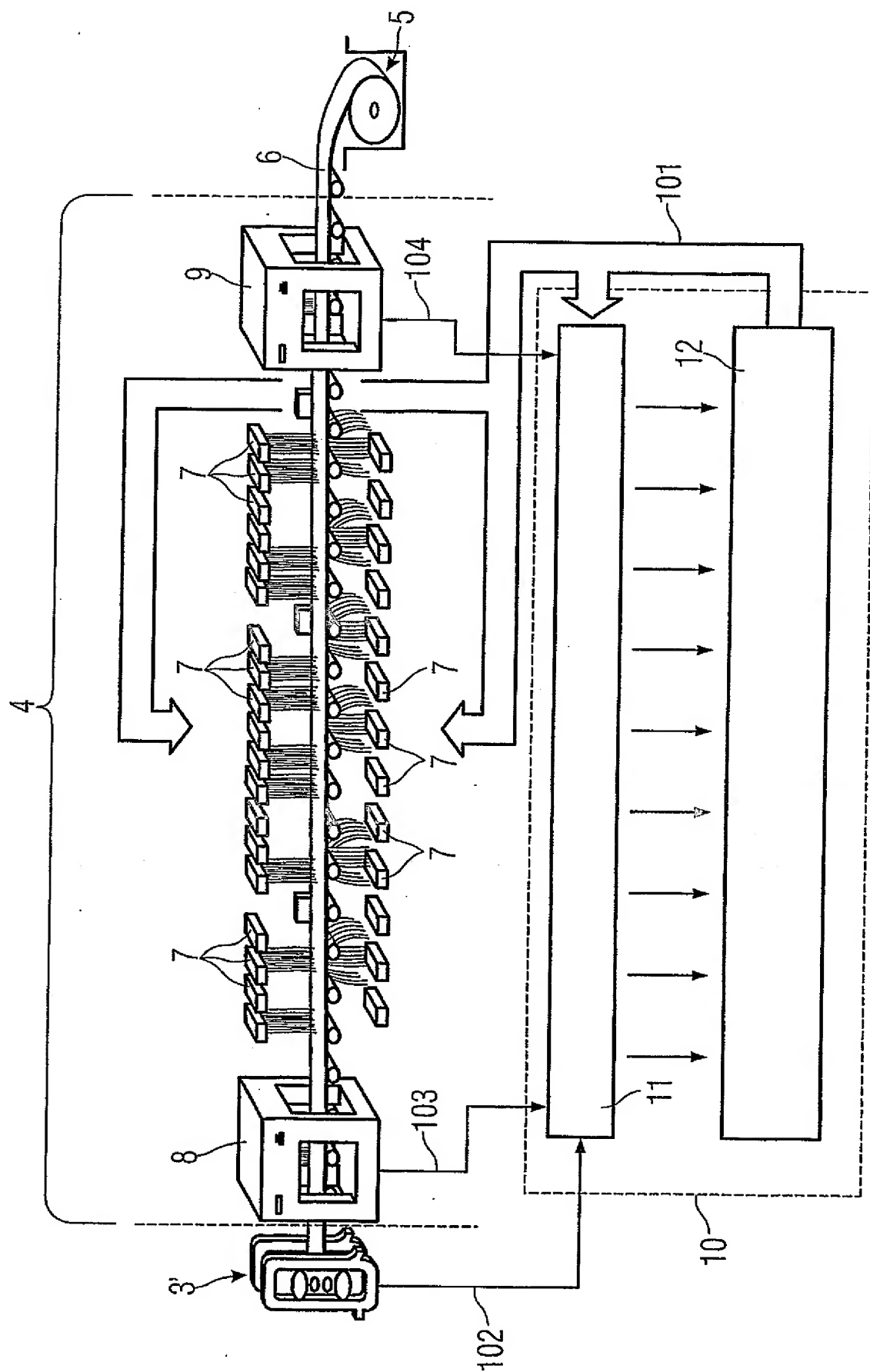


FIG 1



2/6

FIG 2



3/6

FIG 3

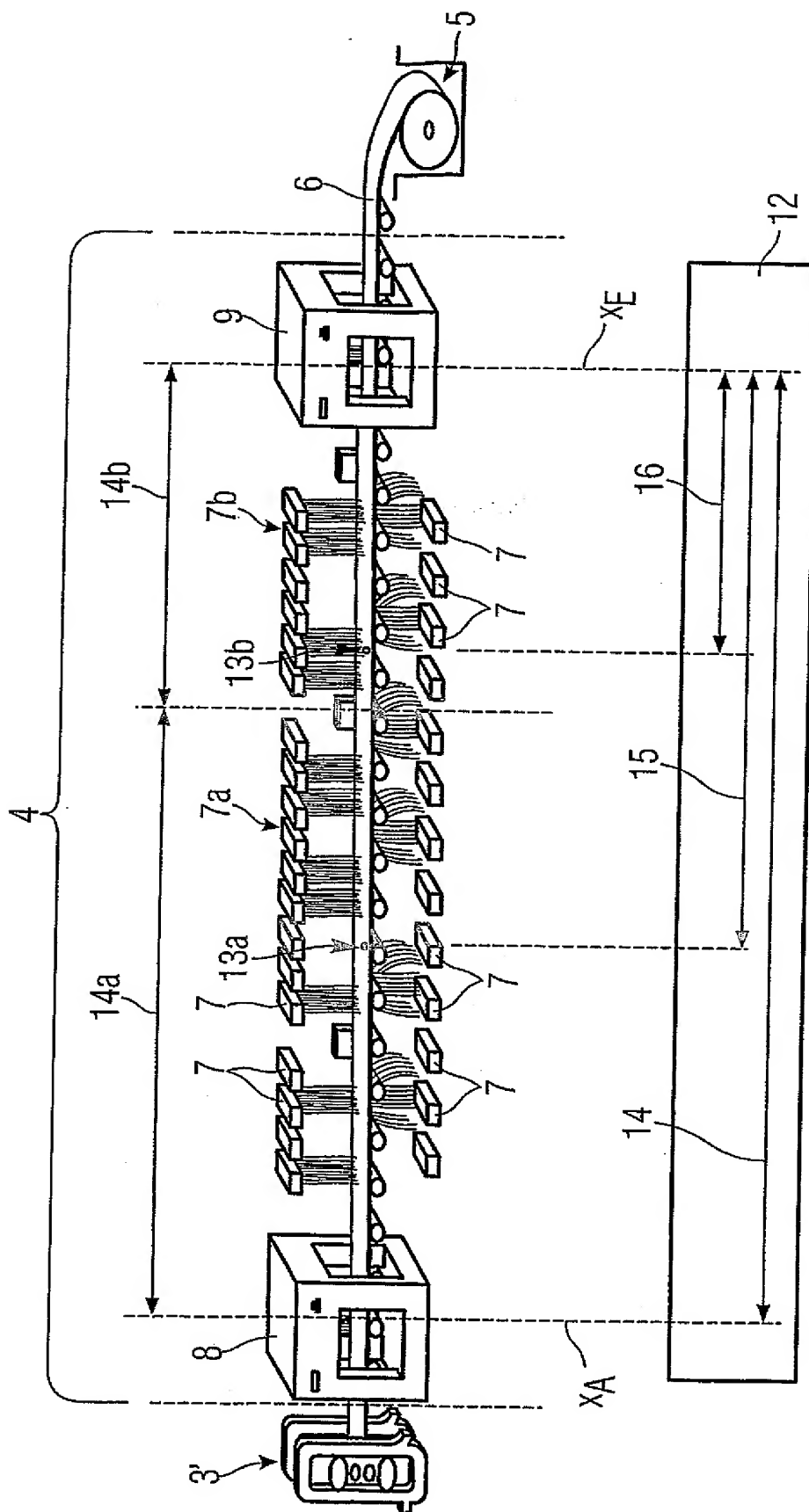


FIG 4

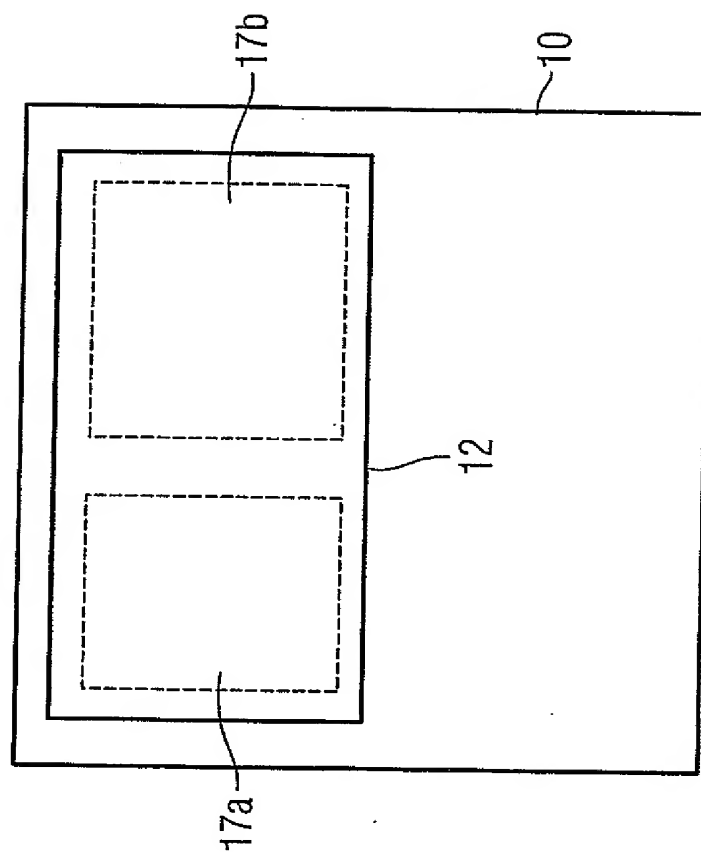


FIG 5

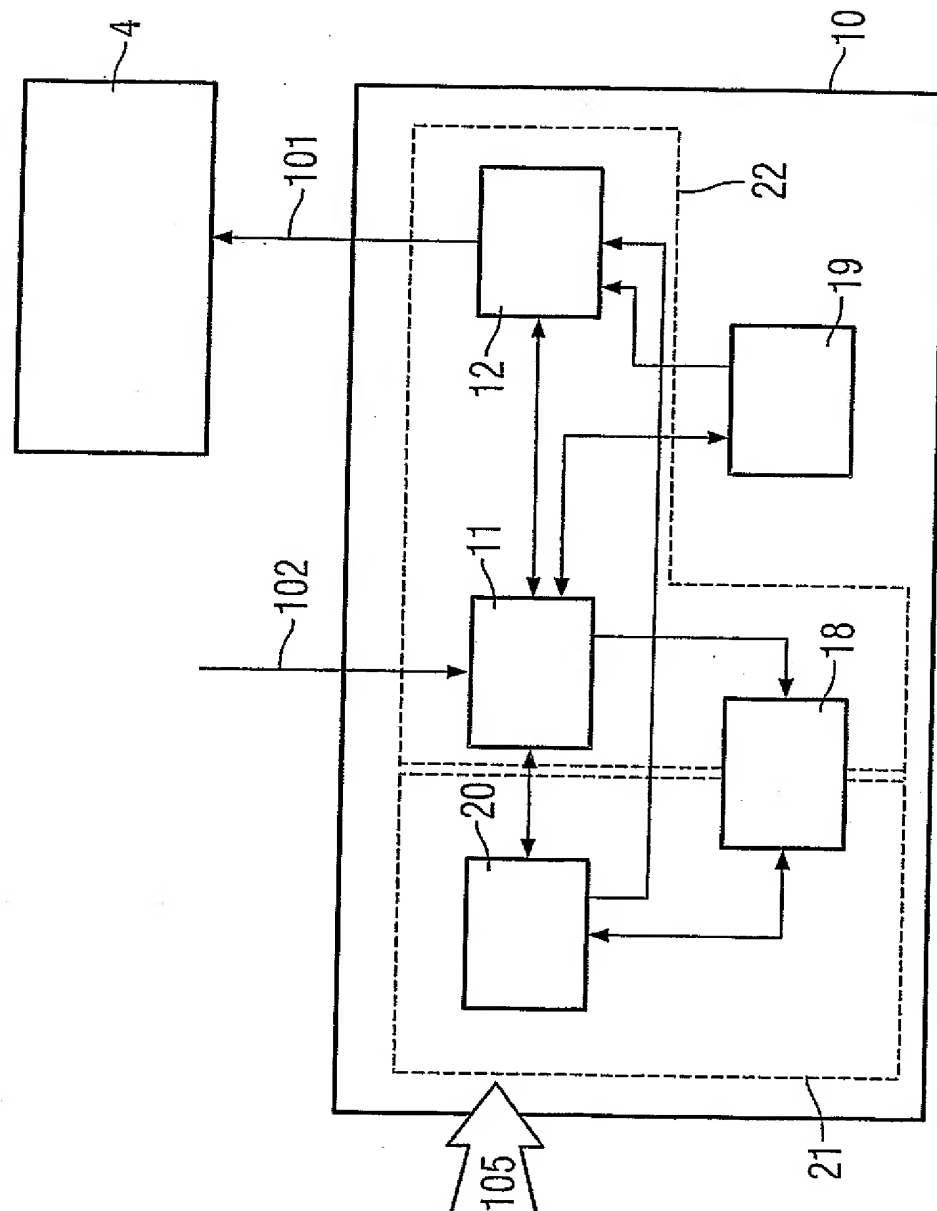


FIG 6

